doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.021

基于 RGB - D 相机的蔬菜苗群体株高测量方法

杨　斯[1,2]　高万林[1,2]　米家奇[1,2]　吴梦柳[1,2]　王敏娟[1,2]　郑立华[2,3]

(1. 中国农业大学农业农村部农业信息化标准化重点实验室, 北京 100083;
2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083;
3. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为实现工厂化育苗生产线上黄瓜苗群体株高的快速无损测量,提出一种基于 RGB - D(RGB - Depth)相机的温室育苗盘中蔬菜苗株高参数原位测量方法。以黄瓜苗为观测对象,在苗的正上方 0.75 m 处架设 RGB - D 相机,以获取黄瓜苗盘的俯视彩色图像、深度图像以及彩色三维点云数据。在采集的俯视彩色三维点云中分割出单株幼苗点云集、并实现单株幼苗的定位是蔬菜苗群体株高原位测量的关键。根据 RGB - D 相机的成像原理,将滤波与聚类分割算法相结合,实现一种基于俯视的彩色三维点云数据处理方法,用于从穴盘幼苗群体点云集中分割出单株幼苗点云集。对黄瓜苗彩色三维点云数据的实验处理结果表明,条件滤波、颜色聚类以及统计滤波相结合的滤波算法能够更好地滤除土壤背景的点云集,欧氏距离聚类分割算法可以从滤除土壤背景后的点云中有效地分割出单株蔬菜苗点云集。最后,根据基于俯视的彩色三维点云数据的幼苗株高计算方法得出单株幼苗的株高。实验结果表明,黄瓜苗株高的平均测量误差为 2.30 mm,平均测量相对误差为 7.69%,该结果可为苗期作物群体关键生长参数的提取提供有效的解决方案。

关键词: 工厂化育苗; 无损测量; RGB - D 相机; 彩色三维点云; 滤波; 欧氏距离聚类

中图分类号: S126; TP391.41　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2019)S0-0128-08

Method for Measurement of Vegetable Seedlings Height Based on RGB - D Camera

YANG Si[1,2]　GAO Wanlin[1,2]　MI Jiaqi[1,2]　WU Mengliu[1,2]　WANG Minjuan[1,2]　ZHENG Lihua[2,3]

(1. *Key Laboratory of Agricultural Informatization Standardization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*
2. *College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*
3. *Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: In order to rapidly and non-destructively measure the height of each vegetable seedling in plug tray grown in greenhouse, a method based on red, green, blue-Depth (RGB - D) camera was proposed to extract height of each single vegetable seedling. Using Kinect fusion algorithms, RGB - D camera can create a canopy color 3D point cloud from the canopy color video stream and the depth video stream. 3D segmentation and identification of individual vegetable seedling from plug tray seedlings in the complicated natural scene was a key point to be resolved. Based on the principle of the RGB - D camera imaging, a method for calculating the height of each seedling in the plug tray was investigated. The procedure for processing top-view color 3D point cloud of vegetable seedlings was proposed combining filtering and clustering for segmentation and identification of vegetable seedlings. The top view color 3D point cloud of bean sprouts were firstly filtered with the algorithm combined with the conditional removal and color clustering and statistical outlier removal to denoise the complicated natural scene points and noises. Individual seedlings were accurately segmented with the algorithm of Euclidean clustering. The results showed that the average measurement error of bean sprout seedling height was 2.30 mm and the

收稿日期: 2019 - 04 - 18　修回日期: 2019 - 05 - 20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471409)

作者简介: 杨斯(1992—),女,博士生,主要从事计算机图形学和植物表型研究,E-mail: yangsi4212@163.com

通信作者: 王敏娟(1984—),女,博士后,主要从事表型组学和计算机视觉研究,E-mail: minjuan@cau.edu.cn

average relative error was 7.69%. This result can provide an effective reference solution for the extraction of the key growth parameters of seedlings. The proposed method could be used to quickly calculate the morphological parameters of each seedling and it was practical to use this approach for high-throughput seedling phenotyping. Compared with other state-of-art segmentation methods, there was no need for this approach to create new training data and accompany annotated ground truth images.

Key words: plant phenotyping; non-destructive measurement; RGB－D camera; colored 3D point cloud; filtering; Euclidean clustering

0　引言

在植物工厂，人为地创造合适的温度、湿度、光照以及营养物等可以实现高质量的种苗生产，为今后作物的优质高产打下坚实的基础[1-2]。作物长势及其空间分布信息对农业具有研究价值，通过将这些信息纳入管理和现场工作流程，可以提高农业生产率和效率[3]。蔬菜苗株高是蔬菜苗健康评价的一项重要指标，然而蔬菜苗并不是越高越好，在不良生长环境下，会使苗徒长，徒长苗前期产量明显降低，后期产量也受影响，表现出早期落花严重及早衰的现象，因此需要快速、无损地测量出幼苗群体的株高，筛选出健康苗，为调节生长环境、防止蔬菜苗徒长做出决策[4]。

机器视觉技术已广泛应用于测量[5-11]与监测[12-15]中。近年来国内外学者研究多种基于 RGB－D 相机的物体尺寸测量方法。ZHUANG 等[16]提出了一种基于俯视三维点云数据的物体高度测量方法，使用 Kinect 相机对彩色深度图像进行采集，对采集图像进行预处理、去除背景，结果表明，相对误差小于 1.56%，提高了测量的效率和准确性，满足实时性的要求。PAULUS 等[17]对比当前低成本三维成像系统与高精度激光扫描仪得出，在目前的研究中，低成本的三维成像设备可满足植物表型研究的需求，并证实在许多植物表型分析场景中低成本传感器能够替代昂贵的激光扫描仪。XIONG 等[18]应用 RGB－D 相机建立了高通量立体成像系统，用于重建油菜幼苗的三维冠层结构，由三维冠层结构可以提取叶面积和株高，研究表明，与二维投影成像方法相比，立体成像提取的叶面积更为精确。仇瑞承等[5-6]利用 RGB－D 相机获取田间玉米的彩色、深度图像，图像处理后提取感兴趣区域，并对该区域的点云数据进行去噪、聚类、椭圆拟合，进而得到玉米的茎粗，实现了田间玉米茎粗的快速测量。前人提出的基于 RGB－D 相机的目标对象的测量方法主要根据 RGB－D 相机的成像原理、利用目标对象的空间坐标关系得出目标的几何尺度，主要针对的是单一目标或者数量较少的目标对象，对于数量较多目标对象的尺寸快速测量的研究较少[19]。

为了满足工厂化育苗生产线上苗盘中蔬菜苗群体株高快速测量的需求，本文提出一种基于 RGB－D 相机的黄瓜苗群体株高测量方法。苗群体株高测量的关键点是对采集的俯视彩色三维点云进行前景与背景分割以及蔬菜苗实例分割，并识别出单株幼苗点云。通过对滤波算法和聚类分割算法的研究分析，提出一种结合滤波与聚类的分割算法，以实现复杂背景下单株幼苗的分割。对于复杂背景分割，提出结合条件滤波、颜色聚类和统计滤波的滤波算法，可有效地滤除复杂自然背景；对于蔬菜苗实例分割，采用欧氏距离聚类算法应用于滤波后的点云，实现快速有效的单株蔬菜苗实例分割。

1　材料和方法

1.1　实验材料与设备

当前 RGB－D 相机种类繁多，Kinect V2 相机以其价格低廉，且能同时采集高质量彩色图像数据和深度数据而被广泛应用到科学研究中。Kinect 是将光照到场景上的有源成像设备，Kinect V2 相机采用飞行时间法（ToF）测距，计算光从场景反射的时间用于建立深度图像，ToF 算法相比 Kinect V1 的基于光斑散射原理获取距离的方法提高了获取深度数据的质量[5]。本文采用 Kinect V2 相机获取温室蔬菜苗的彩色信息流和深度信息流并转换成彩色三维点云。

Kinect V2 相机获取苗盘中蔬菜苗点云的场景搭建，如图 1 所示，将 Kinect V2 相机架设在苗盘的正上方，保证整个苗盘中的蔬菜在 Kinect V2 相机的视场内，依据本文实验对象苗的尺寸，Kinect V2 相机与苗顶端的距离在 0.75 m 较为合适，以获取高分辨率（2 mm）彩色三维点云[20]。在 Windows 10 操作系统下，利用 Kinect SDK 2.0 + Microsoft Visual Studio 2013 设计开发苗盘视觉信息采集平台，获取 Kinect V2 相机采集的彩色信息流和深度信息流，将其转换成彩色图像、深度图像和彩色三维点云，并按照设计的坐标颜色格式实时保存。其中彩色三维点云的获取，利用坐标系转换原理，将 Kinect 深度坐标空间（512 像素 × 421 像素）与彩色坐标空间（1 920 像素 × 1 080 像素）进行配准，再将深度数据

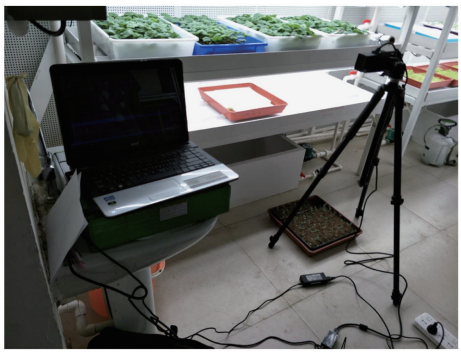


图 1 获取彩色深度数据的场景搭建

Fig. 1 Settlement of colored point cloud capturing

映射到相机坐标空间,最后获得(x,y,z,R,G,B)格式的彩色三维点云数据。系统分别测量苗盘中蔬菜苗的苗高,并依次进行人工测量以验证系统测量的准确性。

1.2 研究方案

获取的彩色三维点云数据主要包含目标对象(苗期作物群体)和背景(三脚架和场景设施、根生长培养基和托盘),本文的目标是计算每个小托盘中黄瓜苗株高,因此首先对采集的点云数据进行目标与背景的分割,其次通过聚类分割算法得到单株蔬菜苗的点云数据,最后分别基于单株蔬菜苗点云数据对其株高进行计算。图 2 为基于 RGB-D 相机的温室蔬菜苗群体株高快速无损测量的流程。

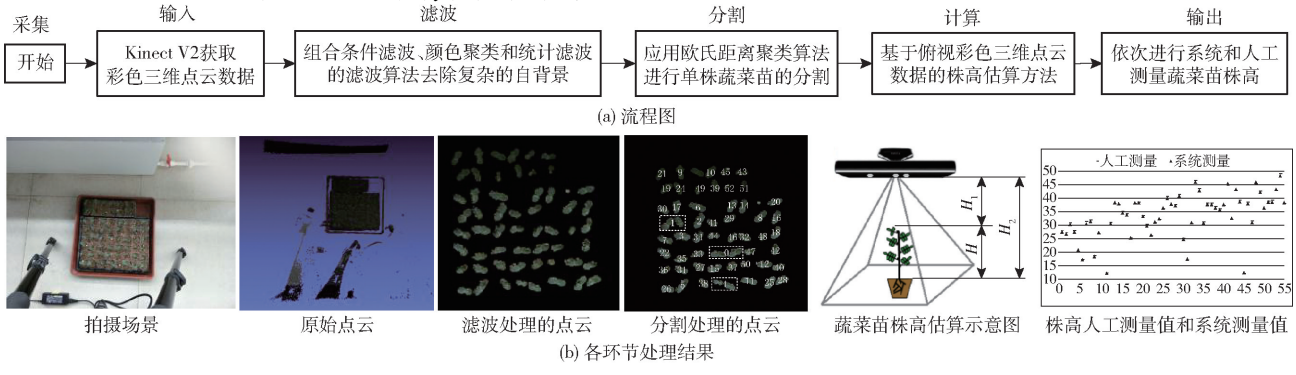


图 2 基于 RGB-D 相机的蔬菜苗群体株高快速无损测量流程

Fig. 2 Flow chart of population seedling height measurement based on RGB-D camera

1.3 自然背景去除

植物与复杂自然背景的分割是植物图像分析的难点[21]。同样的,从复杂场景的三维点云中分割出目标也是一项具有挑战性的任务。点云去噪通常是对三维点云进行处理的第一步也是最重要的一步,去噪结果往往会严重影响后续的点云配准、点云聚类分割、点云特征检测、点云曲面重建等众多处理操作的效果[22]。Kinect V2 相机采集的数据如图 3 所示。在获取点云时通过设置 Kinect 获取场景深度的阈值(0.95 m)自动过滤地面背景,但是依旧会包含其他的环境噪点,采集的一帧点云数据如图 3c 所示。由图 3c 可知,采集到的一帧彩色三维点云中除了含有目标对象,还包含有与目标对象相连的根生长培养基和托盘,以及与苗盘点云无关的三角支架和拍摄场景设施等点云集。

对于杂乱的场景噪声点(如 Kinect 相机支架)的处理,主要通过半交互的方法去除,而有效的分割苗盘、土壤及单株幼苗实例分割是本研究的重点。点云分割的关键是描述不同类型点云的特征,本次实验是在苗正上方 0.75 m 垂直拍摄,其中 Kinect V2 相机空间坐标系如图 4 所示,根据 RGB-D 相机的成像原理可知,采集的彩色三维点云中目标对象点云集与背景点云集在空间位置、密度、纹理、颜色等均有明显的差异。因此,空间位置、密度、纹理等特征可作为点云分割的特征描述[19]。

滤波器具有滤除噪声和分离各种不同信号的功能,目前常用的滤波器包括直通滤波、高斯滤波、统计滤波、条件滤波、半径滤波、基于随机采样一致性

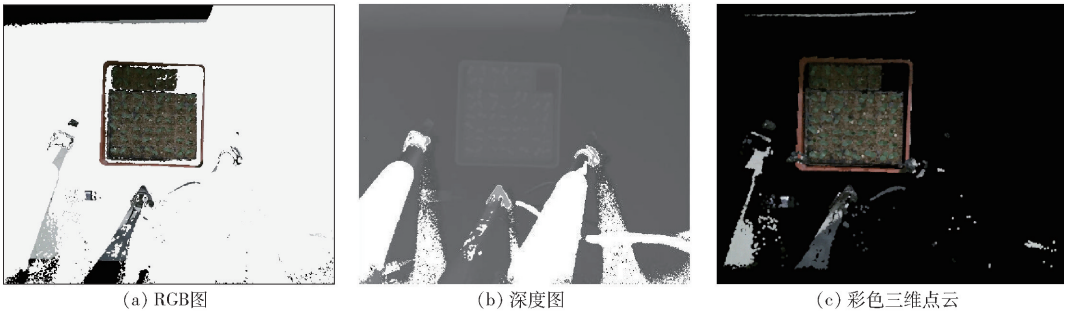


图 3 Kinect 相机采集的蔬菜苗彩色三维点云

Fig. 3 Seedling data acquired by Kinect camera

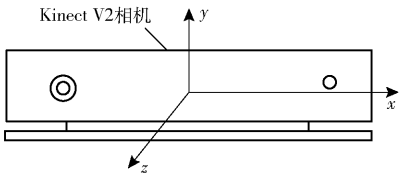


图 4　Kinect V2 相机空间坐标系示意图

Fig. 4　Illustration of Kinect V2 coordinates

滤波等。现有的研究结果表明，条件滤波可以根据用户设定的多维度范围删除掉不在范围内的点，统计滤波算法基本思想：对每个点的邻域进行一个统计分析，并修剪掉那些不符合一定标准的点。在输入数据中对点到邻域点距离分布的计算，计算每个点到它的所有邻域点的平均距离。假设得到的结果是一个高斯分布，其形状由均值和标准差决定，平均距离在标准范围（由全局距离平均值和方差定义）之外的点，可被定义为离群点并可从数据集中去除。

本文的研究对象是苗盘、土壤与幼苗的复杂点云集，尤其是土壤点与黄瓜苗紧密凑在一起，且在颜色维度上较难找出一个阈值来区分土壤点云集和黄瓜苗点云集，因此，单一滤波器并不能实现幼苗的有效分割，本文尝试研究条件滤波和统计滤波的组合滤波器。在实际应用中，根据点云特征调整不同的滤波器参数，实验结果表明条件滤波与统计滤波的组合滤波器仍不能有效地去除密集的土壤点云。条件滤波和统计滤波对于土壤与幼苗密集区域，无法进行有效分割。经过条件滤波和统计滤波处理后，目标点云基本只含有土壤和幼苗，而土壤和幼苗在颜色特征上有明显的差异，故可通过颜色将土壤与幼苗分割。提出一种组合条件滤波、颜色聚类和统计滤波的分割算法将采集的彩色三维点云去除自然背景的点云集。其中，颜色聚类的思想与统计滤波思想类似，将距离信息替换为颜色信息进行聚类分析。由于采集的原始点云数据量庞大，为了提高点云处理的效率，首先使用条件滤波算法去除不满足 x、y、z 维度上的点，可以迅速去除大量与蔬菜苗盘无关的点云集；然后根据颜色聚类方法分割与蔬菜苗紧密相连的土壤点云；最后根据单株蔬菜苗点云集空间分布较密集特征，使用统计滤波算法统计计算出区域点的密集度，删除密集度较小的点。点的选取规则为

$$d(x,y,z)=\begin{cases}s(x,y,z) & (P_{\min}\leqslant(x,y,z)\leqslant P_{\max})\\ 0 & (\text{其他})\end{cases} \tag{1}$$

式中　$d(x,y,z)$——目标点云集

$s(x,y,z)$——原始点云集

其中 $P_{\min}=(x_{\min},y_{\min},z_{\min})$，$P_{\max}=(x_{\max},y_{\max},z_{\max})$，分别取苗盘的边界像素点坐标值中最小值和最大值。

上述分割算法可用算法 1 的伪代码描述：

算法 1：滤波算法

Input：原始点云数据

Output：滤波后的点云数据

条件滤波

while 不满足 x 维度的范围 do

　while 不满足 y 维度的范围 do

　　while 不满足 z 维度的范围 do

　　空间中不满足 xyz 维度范围的点

　　endwhile

　endwhile

endwhile

颜色聚类滤波

设置 K 值为 10；

设置判断是否为离群点的阈值为 1.0

for each　条件滤波后点 do

　计算点到其临近的 K 个点颜色梯度；

　将梯度大于阈值的点删除；

end for each

统计滤波

设置 K 值为 3；

设置判断是否为离群点的阈值为 1.0；

for each　颜色聚类后的点 do

　计算点到其最近的 K 个点平均距离，点云中所有点与其临近点的平均距离应构成高斯分布；

　剔除阈值之外的点；

end for each

1.4　单株蔬菜苗的分割

点云分割是根据点云的几何形状、空间位置以及纹理样式等特征对点云数据集进行划分，使得特征相似的点云子集被分割在同一区域内，对点云进行有效的分割处理是对目标物体点云进行准确提取的前提[23]。

为了获取单株黄瓜苗的株高，需要将苗盘中的黄瓜苗逐株分割得到单个黄瓜苗的点云数据。经过本文提出的自然背景去除处理后的彩色三维点云只包括黄瓜苗点云集，由穴盘培养的蔬菜苗的叶子间存在空隙，采集的俯视三维点云数据中，每株蔬菜苗的点云集是空间分布独立的区域组成的点云集。因此本文提出对去除自然背景后的彩色三维点云进行聚类分割处理，其基本原理为：考察 m 个数据点，在 m 维空间内定义点与点之间某种性质的亲疏聚类。对于本文幼苗点云群体，根据距离特征实现聚类，距离特征用欧氏距离表示。设 m 个数据点组成 n 类，

通过欧氏距离公式来计算邻里关系远近,然后将具有最小距离的两类合为一类,并重新计算类与类之间的距离,迭代直到任意两类之间的距离大于指定的阈值,或者类的个数小于指定的数目,完成分割。欧氏距离(常量)为

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (q_i - p_i)^2} \quad (q_i、p_i \in P) \tag{2}$$

式中 d——欧氏距离

n——三维点云中点云集的总数量

p_i——所选聚类点云集

q_i——相邻聚类点云集

P——三维点云集

其算法基本思想如算法 2 所示:

算法 2:欧氏距离聚类分割算法

Input:滤波算法处理后的点云数据

Output:单株蔬菜苗点云数据

设置聚类搜索点的范围为 0.01 m;

设置一个聚类需要的最小点数目为 15;

设置一个聚类需要的最大点数目为 20;

for each 迭代滤波后的点 do

先找到空间中某点 p,利用 kd-tree 找到离 p 最近的 n 个点,计算这 n 个点到 p 的距离;

将所有距离小于阈值 r 的点都放在聚类 Q 里;

end for each

根据欧氏距离聚类分割的原理可知,点云的聚类分割是随机且无序的,分割出来的众多点云聚类无法确定与苗盘中原始黄瓜苗的点云对应关系,因此还需要将聚类分割的点云集与苗盘中的黄瓜苗一一对应。根据 RGB - D 相机的成像原理可知,采集的三维点云数据中的三维坐标(x,y,z)是唯一的,因此本文根据聚类的结果点云三维坐标(x,y,z)与滤波算法处理后的三维点云数据(即只包含黄瓜苗群体的三维点云集)进行坐标映射匹配,实现黄瓜苗聚类分割出的单株黄瓜苗点云集与苗盘中黄瓜苗编号的一一对应。

1.5 蔬菜苗株高估算

植株基部(根茎交界处)到最上部展开叶叶尖的距离作为植株全长,即株高。本文中,做 2 个强假设,假设苗盘土平面是平整的;假设根茎交界处为幼苗出土表面。本文是在苗盘正上方垂直拍摄获取苗盘的彩色三维点云数据,根据深度相机 Kinect V2 的成像原理和空间坐标系,提出一种基于俯视的彩色三维点云数据的株高计算方法。Kinect V2 依据 ToF 原理获取深度(即真实 Kinect 到被测量物体间距离),通过 Kinect 坐标空间变换得到的三维点云在 z 方向坐标上依旧保留了真实深度值,因此根据空间坐标运算可获得株高,本文方法与传统基于二维图像的方法相比,省去了标定环节。如图 5 所示,株高计算的基本思想:首先统计所有叶片像素点的最小深度,其中深度是空间中作物某点到相机的距离,取出最小深度 H_1,其次统计土壤平面点云到相机的平均深度 H_2,株高 H 的特征值计算公式为

$$H = H_2 - H_1 \tag{3}$$

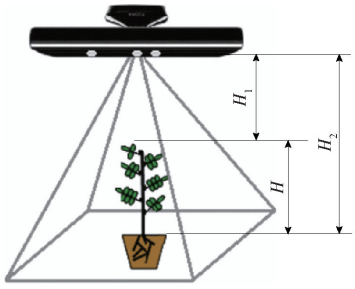


图 5 蔬菜苗株高计算示意图

Fig. 5 Diagram of seedling height estimation

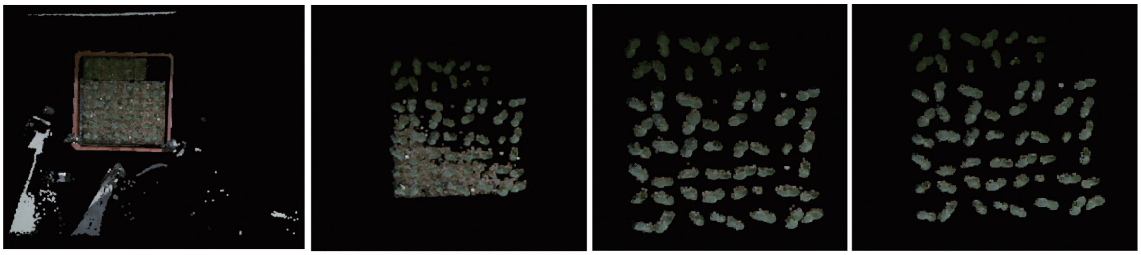
2 结果与分析

2.1 目标对象与自然背景的分割

获取目标对象的前提是将目标对象与复杂的自然背景相分离,利用 Visual Studio 2013 编程实现本文提出的三维点云预处理的方法,本文所提的滤波算法处理结果如图 6 所示。从图 6b 可以看出,不同黄瓜苗之间还是存在大量的培养基点云,即土壤点云,由于土壤凹凸不平,在 x、y、z 维度和颜色维度上无法找到一个阈值将土壤点云滤除。首先使用条件滤波在 x 字段上添加大于 -0.12、小于 0.24 的比较算子;在 y 字段上添加大于 -0.04、小于 0.31 的比较算子;在 z 字段上添加大于 0.5、小于 0.93 的比较算子,其滤波结果如图 6b 所示。然后颜色聚类,利用颜色信息考察条件滤波后点云中每一点与其 10 个邻近点数的平均颜色梯度,根据颜色梯度阈值 1.0,去除与蔬菜苗点云集紧密相连的土壤点云,其滤波结果如图 6c 和图 7 所示。最后应用统计滤波,设置考察邻近点数为 3,离群点的阈值为 1.0,去除离群点和稀疏点,其滤波结果如图 6d 所示。因此本文所提的结合条件滤波、颜色聚类、统计滤波的滤波算法可以有效地实现目标对象与自然背景的分割。

2.2 单株蔬菜苗的提取

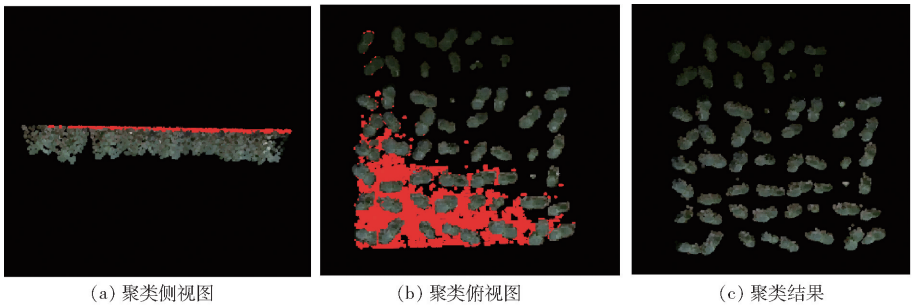
通过 Visual Studio 2013 编程实现本文提出的欧氏距离聚类分割算法,调节聚类参数,测试找出一个合适的聚类搜索半径,本文设置的聚类搜索半径为 8 mm,设置一个聚类需要的最少点数为 15,最大点数为 200,总共聚类出 52 个聚类,其中最大的聚类含有 169 个点数,最小的聚类含有 15 个点数。从原始的黄瓜苗盘中以及黄瓜苗三维点云可视化图中可



(a) 原始点云图　(b) 条件滤波效果　(c) 颜色聚类效果　(d) 统计滤波效果

图 6　条件滤波器和统计滤波器组合滤波效果

Fig. 6　Result of composed filter with conditional filter and statistical filtering

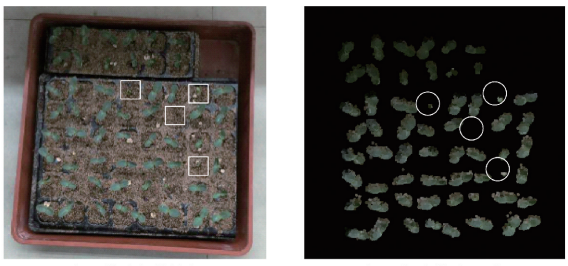


(a) 聚类侧视图　(b) 聚类俯视图　(c) 聚类结果

图 7　颜色聚类过程与结果

Fig. 7　Color clustering process and result

以清楚知道，苗盘中有 60 个小培养基，1 个培养基没有长出苗，3 个培养基长出的苗几乎没有叶片，如图 8 所示；从聚类结果可知，本文方法可以满足黄瓜苗分割的需求。然后，根据坐标映射可将聚类分割出的单株蔬菜苗云集映射到原始点云，实现聚类分割出的单株苗点云集与苗编号一一对应。图 9a 为苗盘中黄瓜苗与聚类分割点云文件匹配的结果，其中苗上的编号表示聚类分割文件的序号。从图 9b、9c、9f 可以看出，间隔较小的黄瓜苗点云集中，未能有效地进行聚类分割，但是从图 9a 以及图 9d、9e 可以看出欧氏距离聚类算法基本上将每一株黄瓜苗点云集聚类，进而实现了从黄瓜苗群体中分割出单株黄瓜苗。从聚类分割的结果可知，经过滤波算法处理的俯视三维点云中的每一株蔬菜苗点云集都是独立的个体，欧氏距离分割算法可以迭代滤波算法处理过的俯视三维点云，快速有效地分割出每一株蔬菜苗点云集。本文提出的滤波聚类算法为空间中多物体的分割提供了一种较好的思路。



(a) 苗盘原始图　(b) 黄瓜苗点云集

图 8　苗盘原始图和黄瓜苗点云集

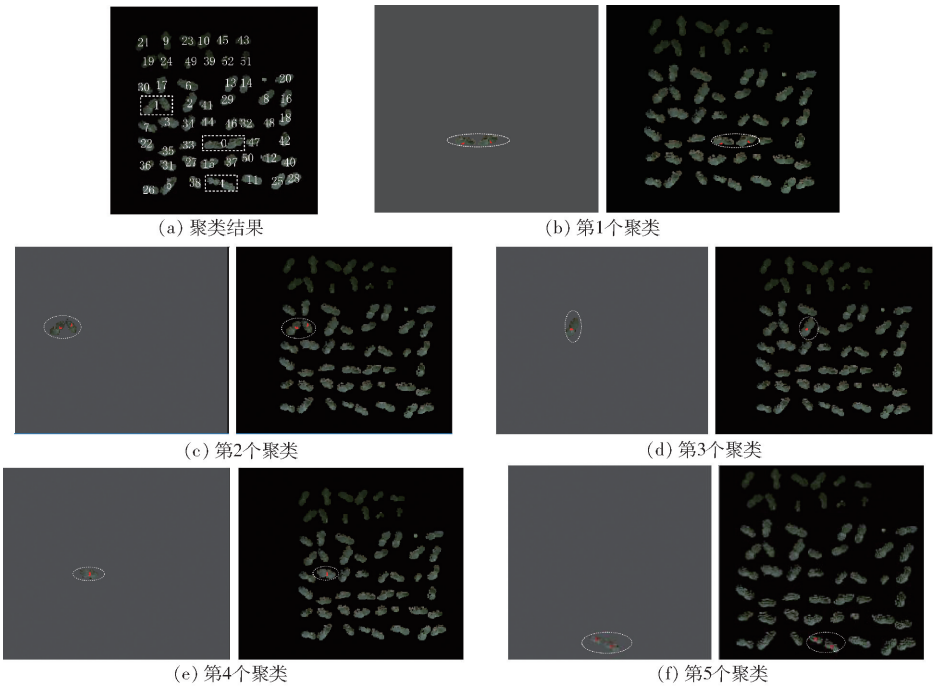
Fig. 8　Raw image and point cloud of cucumber seedling

2.3　蔬菜苗株高估算

使用 Kinect V2 在苗正上方 0.75 m 垂直拍摄获取苗盘的三维点云数据，进而测量苗期作物的株高。但相机摄像头正下方的苗盘中并不是所有的黄瓜苗到相机摄像头的距离都是垂直的，测量误差不可避免。若苗期作物与 Kinect V2 深度相机的连线不在垂直于地面的垂直线上，则该株苗期作物苗高的系统测量值将高于实际苗高，但蔬菜苗群体株高的估算方法是合理精确的。为了验证本文所提的苗高测量方法的准确性，选取苗盘中所有黄瓜苗进行了苗高测量实验，从左到右、从上到下依次对苗盘中的黄瓜苗进行编号，黄瓜苗编号如图 10 所示。人工测量工具为数显游标卡尺，单位为 mm，分辨率为 0.01 mm。其测量结果和误差分析如图 11 所示。

由实验结果可知，本文所提的苗期作物群体苗高快速获取的方法具有较好的处理结果，能够较快较准确地测量黄瓜苗群体的株高，黄瓜苗株高的平均测量误差为 2.30 mm，平均测量相对误差为 7.69%。本文所提的测量方法中滤波处理时间为 3 s，对点云数据进行欧氏距离聚类分割的时间约为 2 s，黄瓜苗株高获取总时间约为 2 s。

存在测量误差的原因有：①人工测量未能很好地接触到苗盘中间的黄瓜苗，导致游标卡尺的测量存在人工测量误差。②虽然 Kinect V2 相机在苗盘的正上方，但其坐标系的镜头并不是苗盘中所有黄瓜苗的正上方，因此在 Kinect V2 相机正下方的侧周黄瓜苗有高估苗高的趋势，存在系统测量误差。



(a) 聚类结果 (b) 第1个聚类 (c) 第2个聚类 (d) 第3个聚类 (e) 第4个聚类 (f) 第5个聚类

图 9 欧氏距离聚类分割的结果

Fig. 9 Euclidean distance clustering and segment results



图 10 黄瓜苗编号示意图

Fig. 10 Diagram of cucumber seedling number label in tray

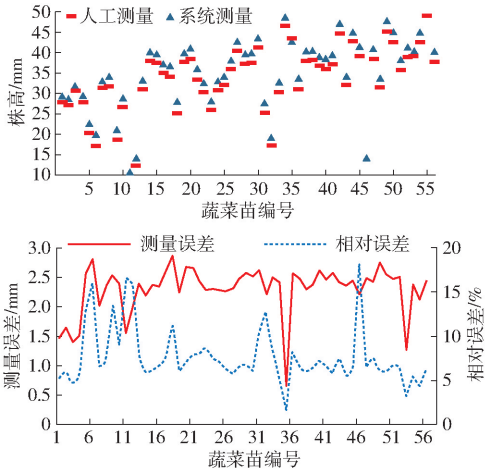


图 11 人工测量和系统测量黄瓜苗株高的结果与误差

Fig. 11 Measurement result and error analysis between manual and system approach

针对原因①的测量误差,可以改用其他测量工具,如高精度皮尺等可以较好地接触苗盘中间的黄瓜苗,可降低人工测量误差。针对原因②的测量误差,后续可以研究非 Kinect V2 相机正下方的黄瓜苗点云与 Kinect V2 相机坐标系原点的空间关系,获取该部分的点云数据与相机坐标系原点所在的直线与相机坐标系下相机平面的夹角,进而获得该部分点云数据到相机平面的距离,减小系统测量误差,提高测量精度。

3 结束语

针对工厂化育苗生产线上苗盘中蔬菜苗株高快速测量的需求,提出了一种基于 RGB - D 相机的苗盘黄瓜苗群体株高测量方法。根据 RGB - D 相机的成像原理,研究了基于俯视彩色三维点云数据的幼苗株高计算方法。基于 RGB - D 相机采集的包含复杂环境噪声的点云数据,提出了一种融合条件滤波、颜色聚类和统计滤波的滤波算法,可有效滤除复杂的自然背景;针对在复杂自然背景的蔬菜苗点云中快速且有效地分割出单株蔬菜苗,提出应用欧氏距离聚类算法迭代去除复杂自然背景的蔬菜苗点,计算点的欧氏距离,将一株蔬菜苗点迅速且准确地聚为一类,实现了单株蔬菜苗的快速分割。在分割得到单株苗点云后,根据本文提出的基于俯视的彩色三维点云数据的幼苗株高计算方法得出单株幼苗的株高参数。实验结果表明,利用 RGB - D 相机测量苗期作物群体的苗高可行,所提出的测量方法具有较高的普适性和准确性。可为苗期作物群体关键生长参数的快速提取提供参考,为工厂化育苗的管理提供决策。

参 考 文 献

[1] ZHANG W, LI W, YANG Z, et al. Height information acquisition method of seedling with machine vision[C]//2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). IEEE, 2015: 1446－1449.

[2] UCHIYAMA H, SAKURAI S, MISHIMA M, et al. An easy-to-setup 3D phenotyping platform for KOMATSUNA dataset[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. 2017: 2038－2045.

[3] ROSELL-POLO J R, CHEEIN F A, GREGORIO E, et al. Advances in structured light sensors applications in precision agriculture and livestock farming[J]. Advances in Agronomy, 2015, 133: 71－112.

[4] 赵有生, 于海业. 健康苗识别标准数据库的构建[J]. 农机化研究, 2011, 33(1):122－124.
ZHAO Yousheng, YU Haiye. Construction of healthy seedlings recognition standards database[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(1):122－124. (in Chinese)

[5] 仇瑞承, 张漫, 魏爽, 等. 基于 RGB－D 相机的玉米茎粗测量方法[J]. 农业工程学报, 2017, 33(增刊):170－176.
CHOU Ruicheng, ZHANG Man, WEI Shuang, et al. Method for measurement of maize stem diameters based on RGB－D camera[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(Supp.):170－176. (in Chinese)

[6] 仇瑞承, 苗艳龙, 季宇寒, 等. 基于 RGB－D 相机的单株玉米株高测量方法[J]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊): 211－219.
CHOU Ruicheng, MIAO Yanlong, JI Yuhan, et al. Measurement of individual maize height based on RGB－D camera[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.):211－219. (in Chinese)

[7] JAGTAP S B, HAMBARDE M S M. Agricultural plant leaf disease detection and diagnosis using image processing based on morphological feature extraction[J]. IOSR J. VLSI Signal Process. (IOSR－JVSP), 2014, 4(5): 24－30.

[8] SRITARAPIPAT T, RAKWATIN P, KASETKASEM T. Automatic rice crop height measurement using a field server and digital image processing[J]. Sensors, 2014, 14(1): 900－926.

[9] 郭庆华, 吴芳芳, 庞树鑫, 等. Crop 3D－基于激光雷达技术的作物高通量三维表型测量平台[J]. 中国科学(生命科学), 2016, 46(10): 1210－1221.
GUO Qinghua, WU Fangfang, PANG Shuxin et al. Crop 3D: a platform based on LiDAR for 3D high-throughput crop phenotyping[J]. Scientia Sinica, 2016, 46(10): 1210－1221. (in Chinese)

[10] MORTENSEN A K, BENDER A, WHELAN B, et al. Segmentation of lettuce in colored 3D point clouds for fresh weight estimation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 154: 373－381.

[11] 徐胜勇, 卢昆, 潘礼礼, 等. 基于 RGB－D 相机的油菜分枝三维重构与角果识别定位[J]. 农业机械学报, 2019, 50(2):21－27.
XU Shengyong, LU Kun, PAN Lili, et al. 3D reconstruction of rape branch and pod recognition based on RGB－D camera[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(2):21－27. (in Chinese)

[12] 武聪玲, 滕光辉, 李长缨. 黄瓜幼苗生长信息的无损监测系统的应用与验证[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4):109－112.
WU Congling, TENG Guanghui, LI Zhangying. Application and validation of computer vision based on destructive measurement system for cucumber seedling growth conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4):109－112. (in Chinese)

[13] 吴琼. 基于高光谱成像技术的小麦苗期监测研究[D]. 长春:吉林大学, 2012.
WU Qiong. Study on wheat seedling monitoring based on hyperspectral imaging technology[D]. Changchun: Jilin University, 2012. (in Chinese)

[14] 李长缨, 滕光辉, 赵春江, 等. 利用计算机视觉技术实现对温室植物生长的无损监测[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3):140－143.
LI Changying, TENG Guanghui, ZHAO Chunjiang, et al. Development of non-contact measurement on plant growth in greenhouse using computer vision[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(3):140－143. (in Chinese)

[15] HU Y, WANG L, XIANG L, et al. Automatic non-destructive growth measurement of leafy vegetables based on Kinect[J]. Sensors, 2018, 18(3): 806.

[16] ZHUANG Xingchang, ZHOU Jun, LI Ling, et al. A height measurement method of irregular objects based on Kinect[C]// 2017 2nd International Conference on Multimedia and Image Processing (ICMIP). IEEE, 2017: 230－234.

[17] PAULUS S, BEHMANN J, MAHLEIN A K, et al. Low-cost 3D systems: suitable tools for plant phenotyping[J]. Sensors, 2014, 14(2): 3001－3018.

[18] XIONG Xiong, YU Lejun, YANG Wanneng, et al. A high-throughput stereo-imaging system for quantifying rape leaf traits during the seedling stage[J]. Plant Methods, 2017, 131: 7.

[19] FARAGÓ D, SASS L, VALKAI I, et al. PlantSize offers an affordable, non-destructive method to measure plant size and color *in vitro*[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 219.

[20] GAI J, TANG L, STEWARD B. Plant localization and discrimination using 2D + 3D computer vision for robotic intra-row weed control[C]//2016 ASABE Annual International Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2016: 1－15.

[21] XIA C, WANG L, CHUNG B K, et al. In situ 3D segmentation of individual plant leaves using a RGB－D camera for agricultural automation[J]. Sensors, 2015, 15(8): 20463－20479.

[22] 李恒星. 激光雷达点云特征分析与数据分割[D]. 西安:西安电子科技大学, 2014.
LI Hengxing. Feature analysis and data segmentation for the LADAR point cloud data[D]. Xi'an: Xidian University, 2014. (in Chinese)

[23] 吴燕雄, 李峰, 刘芳, 等. 平滑度欧式聚类算法分割点云数据[J]. 测控技术, 2016, 35(3):36－38.
WU Yanxiong, LI Feng, LIU Fang, et al. Point cloud segmentation using Euclidean cluster extraction algorithm with the smoothness[J]. Journal of Measurement and Control Technology, 2016, 35(3):36－38. (in Chinese)